小麦蚜虫对六种杀虫剂的抗药性及田间药效评价

于晓庆[1]，张　帅[2]，宋姝娥[1]，朱庆荣[3]，谢传峰[1]，嵇　俭[1]，高希武[4,*]

（1. 山东省植物保护总站，济南 250100；2. 全国农业技术推广服务中心，北京 100125；
3. 山东省汶上县植物保护站，山东济宁 272500；4. 中国农业大学昆虫学系，北京 100193）

摘要：【目的】为了掌握山东小麦蚜虫对常用杀虫剂的抗药性及田间防治效果，进一步筛选出对小麦蚜虫高效、低毒的药剂品种。【方法】2013 - 2014 年，采用玻璃管药膜法测定了山东省阳谷县和汶上县小麦蚜虫对 6 种杀虫剂（吡虫啉、高效氯氰菊酯、氧乐果、溴氰菊酯、抗蚜威和氟啶虫胺腈）的抗药性，并于 2015 年采用田间小区试验的方法在汶上县对 8 种杀虫剂防治蚜虫田间效果进行了评价。【结果】除了 2014 年阳谷县禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* 种群对高效氯氰菊酯已经产生低水平抗性外，两地区禾谷缢管蚜其他种群和麦长管蚜 *Sitobion avenae* 对这 6 种杀虫剂的敏感性均较高，处于敏感水平。田间防治试验结果表明，50% 氟啶虫胺腈 WG、20% 啶虫脒 WP、10% 吡虫啉 WP 和 50% 抗蚜威 WP 速效性好，药后 3 d 对麦蚜的防治效果达 76.9% ~85.6%；50% 氟啶虫胺腈 WG、20% 啶虫脒 WP、10% 吡虫啉 WP、40% 氧乐果 EC、25% 吡蚜酮 WP、50% 抗蚜威 WP 和 40% 毒死蜱 EC 持效性好，药后 7 d 对麦蚜的防治效果达 80.0% ~97.5%；25 g/L 高效氯氟氰菊酯 EC 药后7 d对麦蚜的防效仅为 74.8%，极显著低于其他药剂。【结论】在小麦生产中，可选用高效低毒的氟啶虫胺腈、啶虫脒、吡虫啉、抗蚜威和吡蚜酮对小麦蚜虫进行防治，注意不同类型药剂之间的轮换和交替使用。

关键词： 禾谷缢管蚜；麦长管蚜；高效氯氰菊酯；氟啶虫胺腈；抗药性；田间试验；防治效果

中图分类号： Q965.9　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 0454-6296(2016)11-1206-07

Resistance of wheat aphids to six insecticides and assessment of their field efficacy

YU Xiao-Qing[1], ZHANG Shuai[2], SONG Shu-E[1], ZHU Qing-Rong[3], XIE Chuan-Feng[1], JI Jian[1], GAO Xi-Wu[4,*] (1. Plant Protection Station of Shandong Province, Jinan 250100, China; 2. National Agro-Tech Extension and Service Center, Beijing 100125, China; 3. Plant Protection Station of Wenshang County, Jining, Shandong 266071, China; 4. Department of Entomology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: 【Aim】This study aims to assess the current status of insecticide resistance in wheat aphids and the field trial efficacy of some common insecticides to these pests in Shandong Province, so as to screen highly effective and low toxic insecticides to wheat aphids. 【Methods】Two field populations of wheat aphids were collected from Yanggu and Wenshang in Shandong Province during 2013 - 2014. Resistance levels of the two field populations to six insecticides (imidacloprid, beta-cypermethrin, omethoate, deltamethrin, pirimicarb and sulfoxaflor) were tested by residual film methods, and the control efficacy of 8 insecticides was evaluated using field trials in 2015. 【Results】The bioassay results showed that the field populations of *Rhopalosiphum padi* and *Sitobion avenae* remained sensitive to the six

基金项目：国家公益性行业（农业）科研专项（201203038）

作者简介：于晓庆，女，1978 年 11 月生，山东莱州人，博士，农艺师，从事植保药械管理与技术推广工作，E-mail：xiaoqingyyu@163.com

* 通讯作者 Corresponding author，E-mail：gaoxiwu@263.net.cn

收稿日期 Received：2016-08-04；接受日期 Accepted：2016-11-22

insecticides in 2013 and 2014, except that the Yanggu population of *R. padi* developed a low-level resistance to beta-cypermethrin in 2014. Comprehensive evaluation of field efficacy indicated that sulfoxaflor 50% WG, acetamiprid 20% WP, imidacloprid 10% WP and pirimicarb 50% WP had quick-acting property on wheat aphids, and the control efficacy was 76.9% – 85.6% at 3 d after treatment. Sulfoxaflor 50% WG, acetamiprid 20% WP, imidacloprid 10% WP, omethoate 40% EC, pymetrozine 25% WP, pirimicarb 50% WP and chlorpyrifos 40% EC had long persistent effects on wheat aphids, and the control efficacy was 80.0% – 97.5% at 7 d after treatment. The control efficacy of lambda-cyhalothrin 25 g/L EC against wheat aphids was only 74.9% at 7 d after treatment, significantly lower than that of other insecticides. 【Conclusion】 These results suggest that sulfoxaflor, acetamiprid, imidacloprid, pirimicarb and pymetrozine have high efficacy on wheat aphids, and these insecticides should be used alternately in the control of field wheat aphids.

Key words: *Rhopalosiphum padi*; *Sitobion avenae*; beta-cypermethrin; sulfoxaflor; insecticide resistance; field trial; control efficacy

小麦 *Triticum aestivum* 蚜虫分布极广，几乎遍及世界各小麦产区，是小麦的主要害虫之一。禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* 和麦长管蚜 *Sitobion avenae* 是我国小麦上的优势麦蚜种群，从小麦苗期直至收获均有麦蚜为害，在小麦生长中后期比较严重，其中穗期为害最重，且不同年份、不同生态麦区两种蚜虫的发生程度不同（刘爱芝等，2001；曹雅忠等，2006）。麦蚜除了直接刺吸小麦汁液为害，还能传播多种麦类病毒病，造成病害流行，以及分泌蜜露引发煤烟病，影响光合作用（Blackman and Eastop，2000），造成小麦植株长势减弱、千粒重下降、萎蔫，甚至全株死亡，严重影响小麦的品质和产量，严重威胁小麦生产（Xiao *et al.*，2015；Li *et al.*，2016）。

由于麦蚜具有繁殖快、发生代数多、种群密度大、具有飞行能力等特点，不易彻底消灭，长期以来，麦蚜的防治主要以化学防治为主。山东省麦蚜年发生 10～20 代，多以无翅成、若蚜在麦株基部和土缝内越冬（张乃芹等，2007），当温度 13～25℃、相对湿度 40%～80% 范围内有利于麦蚜大发生（马春森等，2014）。特别是近年来，随着冬春温暖少雨和偏干旱气候条件下，麦蚜在我国北方麦区持续偏重发生，每年发生代数增多，使得有些地方麦蚜高峰的防治次数增加，用药量不断加大（王随保等，2003；张乃芹等，2007）。长期频繁大量、不合理地使用化学农药不但导致麦蚜对不同药剂产生了不同程度的抗药性（魏岑等，1988；洪波等，2004；Lu and Gao，2009）和再猖獗（曹雅忠等，2006），还会产生农药残留、污染环境、破坏生物多样性等问题（谭亚军等，2003；吴春华和陈欣，2004）。

虽然目前可利用生物防治、种植抗虫品种等措施治理麦蚜，可减少药剂用量，避免抗性产生，但效果缓慢，不能及时控制虫害。在今后相当长时间里，化学防治仍将是麦蚜的防治中不可替代的手段，但其引发的害虫抗性问题也不可忽视。为了掌握山东省小麦主要产区禾谷缢管蚜和麦长管蚜对有机磷、拟除虫菊酯、氨甲酸酯和新烟碱类等常用杀虫剂和新药氟啶虫胺腈的抗性水平，以及在田间比较不同类型杀虫剂对小麦蚜虫的防治效果，筛选出对小麦蚜虫高效、低毒、低残留、环境相容性较好的药剂品种，本研究 2013－2014 年采集山东省阳谷县的麦长管蚜种群、禾谷缢管蚜种群以及 2014 年采集汶上县的麦长管蚜种群，延续多年的抗药性监测工作，继续测定了其对 6 种杀虫剂的抗药性。同时，结合抗药性监测药剂品种和田间实际防治中选择药剂品种的现状，通过田间小区试验，评价了 8 种不同杀虫剂对麦蚜的防治效果，为指导农民轮换科学用药和小麦蚜虫综合防治策略制定提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

麦蚜田间种群分别于 2013 和 2014 年采自山东省阳谷县和 2014 年采自山东汶上县麦蚜历年发生较重的 2 个乡镇，每乡镇选择 3 块地，每地块随机分多点采集 300～500 头无翅成蚜，随后随小麦植株一起带回实验室，选择个体大小一致的健康雌成蚜进行生物测定。其中，在阳谷采集麦长管蚜种群和禾谷缢管蚜 2 种麦蚜，而在汶上仅采集麦长管蚜。

1.2 供试药剂

生物测定用药剂（原药）：95.3% 吡虫啉（imidacloprid），美国杜邦公司；95% 抗蚜威（pirimicarb），无锡瑞泽化工有限公司；99% 高效氯氰

菊酯(beta-cypermethrin)和 98% 溴氰菊酯(deltamethrin),江苏扬农化工股份有限公司;88% 氧乐果(omethoate)原油,天津京津杀虫药剂厂;97.86% 氟啶虫胺腈(sulfoxaflor)由美国陶氏益农公司提供。

田间试验用药剂(制剂):50% 氟啶虫胺腈 WG,美国陶氏益农公司生产;20% 啶虫脒(acetamiprid)WP,山东联合农药有限公司生产;25% 吡蚜酮(pymetrozine)WP,江苏安邦电化有限公司生产;50% 抗蚜威 WP,兴农药业(中国)有限公司生产;25 g/L 高效氯氟氰菊酯(lambda-cyhalothrin)EC,河北省沧州百斯特生物技术有限公司生产;40% 毒死蜱(chlorpyrifos)EC,河南银田精细化工有限公司生产;40% 氧乐果 EC,河北志诚生物化工有限公司生产;10% 吡虫啉 WP,沈阳科创化学品有限公司生产。

1.3　抗药性测定

小麦蚜虫抗药性测定在中国农业大学植物保护学院昆虫系通过玻璃管药膜法(鲁艳辉等, 2009)进行。先将杀虫剂原药用丙酮配制成 2 000 mg/L 的母液,使用时用丙酮按等比稀释成 5 ~7 个的浓度梯度,每个浓度测定 3 个重复;再从稀释好的药液中吸取 200 μL 加入到内表面积 40 cm^2 的玻璃管(直径 1.8 cm,高 7.2 cm)中,立即用小型滚瓶机(American Wheaton Company)滚匀,静置 3 h 以上,待丙酮挥发后用于毒力测定,使用丙酮作为对照。挑取健康、大小一致的无翅成蚜进行试验,每管 20 头,在温度18 ~25℃,相对湿度 50% ~70%,光周期 17L: 7D 的条件下饲养,3 h 以后检查死亡率,其中只有一条腿动或完全不动者记为死亡(Moores *et al*., 1996),以对照死亡率小于 10% 为有效测定,并用对照死亡率进行校正。

1.4　田间药效试验

试验地基本情况:田间试验严格按照中华人民共和国国家标准(GB/T 17980.15-2000)进行(农业部农药检定所生测室, 2000)。田间试验于济宁市汶上县次丘镇西温口村小麦田内进行,试验地土壤质地为重壤土,有机质含量为 15.9 g/kg,pH 7.1,肥力较好。小麦品种为济麦 22 号,2014 年 10 月 12 日播种,基本苗 16.8 万棵/667 m^2,亩穗数 49.6 万穗,全生育期浇水 3 次。

试验药剂及处理方法:试验设 50% 氟啶虫胺腈 WG,3 g/667 m^2; 20% 啶虫脒 WP, 7.5 g/667 m^2; 25% 吡蚜酮 WP, 20 g/667 m^2; 50% 抗蚜威 WP, 15 g/667 m^2; 25 g/L 高效氯氟氰菊酯 EC, 32 mL/667 m^2; 40% 毒死蜱 EC, 30 mL/667 m^2; 40% 氧乐果 EC, 27.5 mL/667 m^2; 10% 吡虫啉 WP, 40 g/667 m^2 和清水空白对照。

9 个处理,小区随机区组排列,每个处理重复 4 次,小区面积 167 m^2,小区间留有 2 m 保护行。试验期间天气情况:施药时间为 2015 年 5 月 6 日,天气晴,平均气温为 21.4℃,相对湿度 62%;施药后日平均气温为 20.2 ~24.3℃。施药时期与方法:施药期间小麦处于灌浆期,为穗部蚜虫发生盛期,采用喷孔为 0.9 mm 的 3WBD-16 型电动喷雾器(台州市金球泵业有限公司)对小麦各部位均匀喷雾,每 667 m^2 喷施药液量 30 kg。调查方法与防治效果评价:施药前每小区 5 点取样,每点 10 株调查蚜虫基数,施药后 3、7 d 分别调查记载残存的活虫数。田间试验在施药时,由于麦田的天敌虫口数量较少,不能达到试验要求,因此没有涉及到以上药剂对天敌的影响。调查药剂防效的同时,观察药剂对作物的影响。根据调查数据计算各处理对麦蚜的虫口减退率和防治效果,计算公式如下:

$$\text{虫口减退率}(\%)=\frac{\text{施药前活虫数}-\text{施药后活虫数}}{\text{施药前活虫数}}\times 100;$$

$$\text{防治效果}(\%)=\frac{\text{处理区虫口减退率}-\text{对照区虫口减退率}}{100-\text{对照区虫口减退率}}\times 100。$$

1.5　数据统计分析

生物测定所得数据采用软件 POLO Plus 2.0 (LeOra Software Menlo Park, CA, USA)分析得出 LC_{50}值、95% 置信限和斜率。抗性倍数(resistance ratio, RR)为田间种群的 LC_{50}与相应药剂的敏感种群的 LC_{50}的比值。抗性水平分级标准为 RR < 3 为敏感,3≤RR < 5 为敏感性下降或耐药性,5≤RR < 10 为低水平抗性,10≤RR < 40 为中等水平抗性,40≤RR < 160 为高水平抗性,RR≥160 为极高水平抗性(Shen and Wu, 1995)。麦长管蚜对抗蚜威、高效氯氰菊酯、溴氰菊酯、吡虫啉、氧乐果的敏感性基线 LC_{50}值分别为 6.0, 200, 300, 150 和 67 ng/cm^2(鲁艳辉等, 2009);禾谷缢管蚜对抗蚜威、高效氯氰菊酯、溴氰菊酯、吡虫啉、氧乐果的敏感性基线 LC_{50}值分别为 2.6, 80, 33, 20 和 24 ng/cm^2(鲁艳辉等, 2009);氟啶虫胺腈对麦长管蚜和禾谷缢管蚜敏感种群的敏感性基线 LC_{50}值分别为 13 和 2.6 ng/cm^2(张帅等, 2016)。

田间药效试验数据计算结果的方差分析采用 SPSS(SPSS, Inc., Chicago, IL, USA)软件 One-way ANOVA 中 Tukey 氏 HSD 法对实验数据进行差异显著性分析(P < 0.05 和 P < 0.01)。

2　结果

2.1　小麦蚜虫对 6 种杀虫剂的抗性水平

麦长管蚜对 6 种杀虫剂的抗性监测结果(表 1)表明,2013－2014 年采自山东阳谷县和汶上县的麦长管蚜种群对抗蚜威、吡虫啉、高效氯氰菊酯、氧乐果、溴氰菊酯和氟啶虫胺腈 6 种杀虫剂暂未产生抗药性,均处于敏感水平,抗性倍数在 0.20～2.87 之间。

禾谷缢管蚜对 6 种杀虫剂的抗性监测结果见表 2。从年度间的数据可以看出,2013－2014 年,阳谷县禾谷缢管蚜种群对高效氯氰菊酯的抗药性水平有所上升,抗性倍数由 2013 年的 2.05 倍的敏感水平阶段上升为 2014 年的 6.19 倍的低水平抗性;2013 和 2014 年阳谷禾谷缢管蚜对溴氰菊酯产生了耐药性,抗性倍数为 3.12～3.28;两年间阳谷禾谷缢管蚜对抗蚜威、吡虫啉和氧乐果 3 种杀虫剂尚未产生明显抗药性,仍处于敏感水平阶段。

表 1　山东阳谷和汶上麦长管蚜对 6 种杀虫剂的抗性水平

Table 1　Resistance levels of *Sitobion avenae* to six insecticides in Yanggu and Wenshang of Shandong

药剂 Insecticide	监测点 Location	年份 Year	斜率 ± 标准误 Slope ± *SE*	LC_{50} (95% CL) (ng/cm^2)	抗性倍数* Resistance ratio
抗蚜威 Pirimicarb	阳谷 Yanggu	2013	3.445 ± 0.319	17.220(15.069－19.584)	2.87
		2014	2.469 ± 0.247	3.677(3.128－4.373)	0.61
	汶上 Wenshang	2014	2.612 ± 0.261	6.542(5.487－7.959)	1.09
吡虫啉 Imidacloprid	阳谷 Yanggu	2013	0.819 ± 0.138	262.968(179.807－421.024)	1.75
		2014	1.660 ± 0.199	77.94(61.700－96.559)	0.52
	汶上 Wenshang	2014	1.372 ± 0.193	59.032(42.440－76.646)	0.39
高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	阳谷 Yanggu	2013	1.359 ± 0.207	165.473(104.449－224.660)	0.83
		2014	1.947 ± 0.210	401.241(328.402－484.248)	2.01
	汶上 Wenshang	2014	1.528 ± 0.193	516.620(407.648－655.760)	2.58
氧乐果 Omethoate	阳谷 Yanggu	2013	2.663 ± 0.290	34.903(27.854－42.730)	0.52
		2014	2.445 ± 0.239	32.629(26.730－40.486)	0.49
	汶上 Wenshang	2014	1.488 ± 0.194	22.675(17.683－28.790)	0.34
溴氰菊酯 Deltamethrin	阳谷 Yanggu	2013	1.716 ± 0.222	59.367(44.847－74.623)	0.20
		2014	1.530 ± 0.192	194.809(154.856－251.003)	0.65
	汶上 Wenshang	2014	1.306 ± 0.188	127.035(91.384－165.812)	0.42
氟啶虫胺腈 Sulfoxaflor	阳谷 Yanggu	2014	1.261 ± 0.188	8.724(6.470－11.550)	0.67
	汶上 Wenshang	2014	1.392 ± 0.188	9.759(7.527－12.623)	0.75

* 抗性倍数(RR)＝田间种群的 LC_{50} 值/相应杀虫剂的敏感性基线或敏感种群 LC_{50} 值。Resistance ratio (RR) = LC_{50} value of field population/the susceptible baseline or the corresponding LC_{50} value of the laboratory susceptible population.

表 2　山东阳谷禾谷缢管蚜种群对 6 种杀虫剂的抗性水平

Table 2　Resistance levels of *Rhopalosiphum padi* populations from Yanggu, Shandong to six insecticides

药剂 Insecticide	年份 Year	斜率 ± 标准误 Slope ± *SE*	LC_{50} (95% CL) (ng/cm^2)	抗性倍数* Resistance ratio
抗蚜威 Pirimicarb	2013	1.842 ± 0.257	3.000(1.950－3.972)	1.15
	2014	3.933 ± 0.382	3.569(3.156－4.030)	1.37
吡虫啉 Imidacloprid	2013	1.670 ± 0.253	33.886(15.941－50.426)	1.69
	2014	1.563 ± 0.230	6.191(3.468－8.750)	0.31
高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	2013	1.700 ± 0.237	164.374(112.558－213.842)	2.05
	2014	1.666 ± 0.199	495.472(397.592－616.696)	6.19
氧乐果 Omethoate	2013	2.366 ± 0.271	25.346(20.374－30.482)	1.06
	2014	1.614 ± 0.226	7.934(5.281－10.467)	0.33
溴氰菊酯 Deltamethrin	2013	1.464 ± 0.205	103.110(79.272－131.729)	3.12
	2014	1.350 ± 0.192	108.339(78.464－140.814)	3.28
氟啶虫胺腈 Sulfoxaflor	2014	1.249 ± 0.192	2.087(1.331－2.839)	0.80

* 抗性倍数(RR)＝田间种群的 LC_{50} 值/相应杀虫剂的敏感性基线或敏感种群 LC_{50} 值。Resistance ratio (RR) = LC_{50} value of field population/the susceptible baseline or the corresponding LC_{50} value of the laboratory susceptible population.

2.2　8 种杀虫剂对小麦蚜虫的田间防治效果

药后 3 d,50% 氟啶虫胺腈 WG 对麦蚜的防治效果最好(85.6 %),防治效果显著高于其他 7 种杀虫剂; 20% 啶虫脒 WP、10% 吡虫啉 WP、50% 抗蚜威

WP 的防治效果较好，分别为 77.5%，76.9% 和 78.5%，三者之间差异不显著；40% 氧乐果 EC、25 g/L 高效氯氟氰菊酯 EC、40% 毒死蜱 EC，防治效果一般，分别为 69.2%，69.0% 和 67.8%，均显著低于以上 4 种药剂；而 25% 吡蚜酮 WP 防治效果最差，仅为 44.6%，显著低于其他杀虫剂的防效（表 3）。

药后 7 d，50% 氟啶虫胺腈 WG、20% 啶虫脒 WP、10% 吡虫啉 WP 的防治效果分别为 97.5%，95.1% 和 94.4%，显著高于其他药剂，表现出优异的持效性；其次是 40% 氧乐果 EC 和 25% 吡蚜酮 WP，防治效果分别为 86.6% 和 85.2%，持效性也较好；50% 抗蚜威 WP 和 40% 毒死蜱 EC 的防治效果分别为 80.7% 和 80.0%，持效性一般，与氟啶虫胺腈、啶虫脒、吡虫啉、氧乐果和吡蚜酮的防治效果差异达极显著水平；25 g/L 高效氯氟氰菊酯 EC 防治效果最差，为 74.8%，与氟啶虫胺腈、啶虫脒、吡虫啉、氧乐果和吡蚜酮的防治效果差异达极显著水平（表 3）。

表 3 山东汶上 8 种杀虫剂对小麦蚜虫的田间防治效果比较

Table 3 Control efficacy of eight insecticides on wheat aphids in the field in Wenshang, Shandong

处理 Treatment	剂量 Dose	药后 3 d 3 d after treatment		药后 7 d 7 d after treatment	
		虫口减退率（%） Reduction rate of insects	防治效果（%） Control efficacy	虫口减退率（%） Reduction rate of insects	防治效果（%） Control efficacy
50% 氟啶虫胺腈 WG 50% Sulfoxaflor WG	3 g/667 m^2	82.2	85.6 aA	96.7	97.5 aA
20% 啶虫脒 WP 20% Acetamiprid WP	7.5 g/667 m^2	72.2	77.5 bAB	93.6	95.1 aA
10% 吡虫啉 WP 10% Imidacloprid WP	40 g/667 m^2	71.5	76.9 bABC	92.7	94.4 aA
50% 抗蚜威 WP 50% Pirimicarb WP	15 g/667 m^2	73.4	78.5 bA	75	80.7 cBC
40% 氧乐果 EC 40% Omethoate EC	27.5 mL/667 m^2	62	69.2 cBC	82.6	86.6 bB
25 g/L 高效氯氟氰菊酯 EC 25 g/L Lambda-cyhalothrin EC	32 mL/667 m^2	61.7	69.0 cBC	67.3	74.8 dC
40% 毒死蜱 EC 40% Chlorpyrifos EC	30 mL/667 m^2	60.2	67.8 cC	74.1	80.0 cBC
25% 吡蚜酮 WP 25% Pymetrozine WP	20 g/667 m^2	31.6	44.6 dD	80.8	85.2 bcB

同列数据后小写字母和大写字母不同者表示经 Tukey 氏 HSD 检验分别在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。Based on Tukey's HSD test, data followed by different lowercase and uppercase letters in the same column are significantly different at the 0.05 and 0.01 level, respectively.

3 结论与讨论

目前我国山西晋中、安徽蚌埠、山东泰安和淄博等多个小麦产区麦蚜种群对高效氯氰菊酯等多种拟除虫菊酯类杀虫剂已产生了低水平抗性（韩巨才等，1996；韩晓莉等，2007；Zuo *et al*.，2016）。与以上地区相似的是，本研究中也发现了山东阳谷禾谷缢管蚜种群对拟除虫菊酯类杀虫剂高效氯氰菊酯的抗药性水平，两年间抗性倍数上升了 3 倍，由敏感水平上升到了低水平抗性，对溴氰菊酯也产生了耐药性；田间药效试验中高效氯氟氰菊酯 7 d 后对麦蚜的防效显著低于其他药剂，也说明了山东汶上田间已产生了抗高效氯氟氰菊酯的麦蚜种群。

魏岑等（1988）报道了甘肃张掖和高台麦长管蚜种群对有机磷杀虫剂氧乐果产生了 10～15 倍的中等水平抗性；韩晓莉等（2007）报道了安徽蚌埠麦长管蚜对吡虫啉和啶虫脒已产生了高水平抗性；四川成都麦长管蚜对吡虫啉已产生低水平抗性（韩晓莉等，2007）。与此不同的是，本研究监测结果表明，2013 和 2014 年阳谷和汶上地区麦长管蚜和禾谷缢管蚜对吡虫啉、氧乐果、抗蚜威和氟啶虫胺腈仍保持有高度的敏感性，在田间试验中对麦蚜仍然具有较高的防治效果，7 d 后防治效果均达 80%，其中吡虫啉和氟啶虫胺腈的防治效果大于 94%。阳谷县和汶上县麦蚜种群对各类杀虫剂仍保持有高敏感性，抗性发展较慢的原因可能与山东省近几年小麦"一喷三防"用药技术的大力推广（赵广才等，2013），农民科学用药水平的提高，以及麦蚜防治产品的不断增多有一定的相关性。此外，虽然目前与

我国其他麦蚜产区相比较，山东汶上和阳谷地区麦蚜种群对吡虫啉、抗蚜威、氧乐果等杀虫剂暂未产生抗药性，但仍有潜在的抗性风险，应该注意防范，继续指导农民科学轮换用药和推行“一喷三防”的用药技术。

从 8 种杀虫剂对小麦蚜虫的田间防治效果来看，新型砜亚胺类杀虫剂 50% 氟啶虫胺腈 WG 对小麦蚜虫具有速效性高和持效性长的特点，药后 7 d 的防治效果仍在 97% 以上，这与王雍家和熊永续(2011)、罗兰等(2014)等对氟啶虫胺腈的田间试验结果相一致。新烟碱类和氨基甲酸酯类杀虫剂对麦蚜具有较好的防治效果(王雍家和熊永旭，2011；罗兰等，2014；李玉刚等，2014；苏贤岩等，2015)。本研究表明，20% 啶虫脒 WP、10% 吡虫啉 WP 和 50% 抗蚜威 WP 对麦蚜具有较好的速效性和持效性，药后 3 d 防治效果均在 75% 以上，药后 7 d 的防治效果均在 80% 以上；有机磷类杀虫剂 40% 氧乐果 EC 和 40% 毒死蜱 EC 的速效性较差，药后 3 d 防治效果分别为 69.2% 和 67.8%，但持效性较好，药后 7 d 防治效果分别为 86.6% 和 80.0%，这两种药剂本身属于高毒农药，而且是乳油制剂，易污染环境，建议在蚜虫发生普通年份可作为替代药剂与其他药剂交替使用，以延缓抗性，但在蚜虫暴发期建议少用或不用。吡啶类杀虫剂 25% 吡蚜酮 WP 对麦蚜的速效性最差，药后 3 d 防效仅为 44.6%，但具有较好的持效性，药后 7 d 防效达 85.2%，苏贤岩等(2015)也报道了吡蚜酮具有持效期长的特点，这与吡蚜酮特殊的“口针穿透阻塞”作用方式有关(Foster *et al.*，2002)，对昆虫没有击倒活性，也不会产生直接毒性，但昆虫一接触就会停止取食，最终饥饿而死，所以致死作用较慢，但对环境相容性好，对非靶标生物安全。拟除虫菊酯类杀虫剂 25 g/L 高效氯氟氰菊酯 EC 对麦蚜的速效效果不理想，持效性最差，并且本研究表明麦蚜对拟除虫菊酯类药剂已产生低水平的抗药性，建议减少施用。

小麦的抽穗至扬花期是麦蚜防治的关键时期，应根据蚜虫的发生情况及时用药进行防治。因此，结合抗药性和防治效果，50% 氟啶虫胺腈 WG、20% 啶虫脒 WP、10% 吡虫啉 WP、50% 抗蚜威 WP 和 25% 吡蚜酮 WP 具有持效性好，低毒、低残留，环境相容性好，可用于小麦蚜虫始发期喷雾防治；50% 氟啶虫胺腈 WG、20% 啶虫脒 WP、10% 吡虫啉 WP 和 50% 抗蚜威 WP 具有速效性强、持效性好，可用于小麦蚜虫盛发期喷雾防治。值得注意的是，一般情况下小麦一个生长季内用药防治麦蚜 2 ~ 3 次，为延缓麦蚜对杀虫剂抗性的产生，应交替、轮换施用不同作用机理的杀虫剂，如一年内第 1 次防治使用新烟碱类吡虫啉或啶虫脒，第 2 次使用抗蚜威或吡蚜酮，第 3 次使用氟啶虫胺腈等，尽量使同类型或同种杀虫剂在同一田块上使用间隔时间延长，以延长杀虫剂的使用寿命。近几年全国普遍推广应用小麦“一喷三防”技术，在政府相关部门药剂推荐和采购中要避免连续多年选择同一种或同一类药剂，以免增加当地麦蚜种群的杀虫剂选择压力。

参考文献(References)

Blackman RL, Eastop VF, 2000. Aphids on the Worlds Crops: An Identification and Information Guide. 2nd ed. Wiley, Chichester. 375.

Cao YZ, Yin J, Li KB, Zhang KC, Li XQ, 2006. The rampant cause and the control countermeasures of wheat aphids. *Plant Protection*, (5): 72 – 75. [曹雅忠, 尹姣, 李克斌, 张克诚, 李贤庆, 2006. 小麦蚜虫不断猖獗原因及控制对策的探讨. 植物保护, (5): 72 – 75]

Foster SP, Denholm I, Thompson R, 2002. Bioassay and field-simulator studies of the efficacy of pymetrozine against peach-potato aphids, *Myzus persicae*, (Hemiptera: Aphididae), possessing different mechanisms of insecticide resistance. *Pest Manag. Sci.*, 58(8): 805 – 810.

Han JC, Liu HP, Xu JG, Zhang HJ, Zhao ZP, Zhang B, 1996. Studies on pyrethroid resistance in the wheat aphid (*Sitobion avenae* Fab.) from Shanxi. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 24(2): 26 – 28. [韩巨才, 刘慧平, 徐建岗, 张鸿杰, 赵治萍, 张彬, 1996. 山西麦长管蚜对拟除虫菊酯杀虫剂抗药性研究. 山西农业科学, 24(2): 26 – 28]

Han XL, Gao ZL, Dang ZH, Li YF, Chi GT, Pan WL, 2007. Studies on sensitivity of chloronicotinyl insecticides in the grain aphid, *Sitobion avenae* (Fab.) from different areas. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 22(5): 157 – 160. [韩晓莉, 高占林, 党志红, 李耀发, 赤国彤, 潘文亮, 2007. 不同地区麦长管蚜对氯代烟酰类杀虫剂的敏感性. 华北农学报, 22(5): 157 – 160]

Hong B, Guan XQ, Chi YW, Shi HL, Wen ZL, 2004. Bioassay of the sensitivity of wheat aphids to several insecticides in Ningxia. *Journal of Ningxia Agricultural College*, 25(3): 17 – 20. [洪波, 关晓庆, 迟永伟, 施惠玲, 温仲乐, 2004. 宁夏地区麦蚜对几种杀虫剂的敏感性测定. 宁夏农学院学报, 25(3): 17 – 20]

Li XR, Zhang FM, Coates B, Zhang YH, Zhou XG, Cheng DF, 2016. Comparative profiling of microRNAs in the winged and wingless English grain aphid, *Sitobion avenae* (F.) (Homoptera: Aphididae). *Sci. Rep.*, 6: 35668.

Li YG, Gai HM, Wang RY, Qi JS, Zhang JY, 2014. Assessment of control efficacy of four insecticides to wheat aphids. *Shandong Agricultural Sciences*, 46(5): 107 – 108. [李玉刚, 盖红梅, 王瑞英, 齐军山, 张继余, 2014. 四种杀虫剂对小麦蚜虫的田间防治效果评价. 山东农业科学, 46(5): 107 – 108]

Liu AZ, Li SG, Ru TQ, Wang XJ, 2001. Susceptibility and selective toxicity of some insecticides to *Schizaphis graminum* Fabricius and *Rhopalosiphim padi* Linn. *Pesticide Science and Administration*, (Suppl.): 12 - 13. [刘爱芝, 李世功, 茹桃勤, 王晓军, 2001. 杀虫剂对 2 种麦蚜的敏感性和选择性测定. 农药科学与管理, (增刊): 12 - 13]

Lu YH, Gao XW, 2009. Multiple mechanisms responsible for differential susceptibilities of, *Sitobion avenae* (Fabricius) and *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) to pirimicarb. *Bull. Entomol. Res.*, 99 (6): 611 - 617.

Lu YH, Yang T, Gao XW, 2009. Establishment of baseline susceptibility data to various insecticides for aphids *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) and *Sitobion avenae* (Fabricius) (Homoptera: Aphididae) by the method of residual film in glass tube. *Acta Entomol. Sin.*, 52(1): 52 - 58. [鲁艳辉, 杨婷, 高希武, 2009. 禾谷缢管蚜和麦长管蚜玻璃管药膜法敏感毒力基线的建立. 昆虫学报, 52(1): 52 - 58]

Luo L, Li XJ, Yuan ZL, 2014. Toxicities and field trials of 5 insecticides to wheat aphids. *Pesticides*, 53(10): 756 - 758. [罗兰, 李新杰, 袁忠林, 2014. 5 种杀虫剂对小麦蚜虫的毒力测定及田间药效试验. 农药, 53(10): 756 - 758]

Ma CS, Ma G, Zhao F, 2014. Impact of global warming on cereal aphids. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51 (6): 1435 - 1443. [马春森, 马罡, 赵飞, 2014. 气候变暖对麦蚜的影响. 应用昆虫学报, 51(6): 1435 - 1443]

Moores GD, Gao XW, Denholm I, Devonshire AL, 1996. Characterisation of insensitive acetylcholinesterase in insecticide-resistant cotton aphids, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae). *Pestic. Biochem. Physiol.*, 56: 102 - 110.

Shen JL, Wu YD, 1995. Insecticide Resistance in Cotton Bollworm and Its Management. China Agriculture Press, Beijing. 79 - 82.

Su XY, Hu F, Ren XX, Ye ZH, Zhang XC, 2015. Research on the control effects of several insecticides on wheat aphids. *Agricultural Science & Technology*, 16(8): 1693 - 1695. [苏贤岩, 胡飞, 任学祥, 叶正和, 张学成, 2015. 几种常用杀虫剂对小麦蚜虫田间防治效果研究. 农业科学与技术(英文版), 16(8): 1693 - 1695]

Tan YJ, Li SN, Sun L, 2003. The pollution of pesticides to the water environment. *Pesticides*, 42(12): 12 - 24. [谭亚军, 李少南, 孙利, 2003. 农药对水生态环境的影响. 农药, 42(12): 12 - 14]

Wang SB, Chen B, Wang Y, Bu HM, 2003. Synthesis discussion of prevention and cure on wheat aphid and yellow dwarf. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 31(2): 69 - 71. [王随保, 陈斌, 王义, 卜鸿梅, 2003. 小麦蚜虫及黄矮病综合防治研究综述. 山西农业科学, 31(2): 69 - 71]

Wang YJ, Xiong YX, 2011. Field trials on five kinds of insecticides against wheat aphids. *Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry*, (4): 1 - 7. [王雍家, 熊永旭, 2011. 5 种杀虫剂防治小麦蚜虫田间药效试验. 青海农林科技, (4): 1 - 7]

Wei C, Huang SN, Fan XL, Sun XP, Wang WL, Liu ZW, Chen GQ, 1988. A study on the resistance of grain aphid *Sitobion avenae* Fab. to pesticides. *Acta Entomol. Sin.*, 31(2): 148 - 156. [魏岑, 黄绍宁, 范贤林, 孙小平, 王文来, 刘正文, 陈广泉, 1988. 麦长管蚜的抗药性研究. 昆虫学报, 31(2): 148 - 156]

Wu CH, Chen X, 2004. Impact of pesticides on biodiversity in agricultural areas. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 15 (2): 341 - 344. [吴春华, 陈欣, 2004. 农药对农区生物多样性的影响. 应用生态学报, 15(2): 341 - 344]

Xiao D, Yang T, Desneux N, Han P, Gao XW, 2015. Assessment of sublethal and transgenerational effects of pirimicarb on the wheat aphids *Rhopalosiphum padi* and *Sitobion avenae*. *PLoS ONE*, 10 (6): e0128936.

Zhang NQ, Yu LC, Wang MY, Liu YH, 2007. Resistance situation of wheat aphid and its synthetic control. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 19 (8): 50 - 52. [张乃芹, 于凌春, 王明友, 刘云虹, 2007. 小麦蚜虫抗药性现状及综合治理策略. 江西农业学报, 19(8): 50 - 52]

Zhang S, Gao XW, Zhang SM, Min H, Yu XQ, 2016. Control efficacy of sulfoxaflor against wheat aphids. *Plant Protection*, 42(2): 229 - 232. [张帅, 高希武, 张绍明, 闵红, 于晓庆, 2016. 氟啶虫胺腈对麦蚜的防治效果. 植物保护, 42(2): 229 - 232]

Zhao GC, Chang XH, Wang DM, Yang YS, Ma SK, Yang WS, 2013. A control technology of wheat "one spraying and three prevention". *Crops*, (2): 120 - 122. [赵广才, 常旭虹, 王德梅, 杨玉双, 马少康, 杨万深, 2013. 小麦一喷三防技术. 作物杂志, (2): 120 - 122]

Zuo YY, Wang K, Zhang M, Peng X, Pinero JC, Chen MH, 2016. Regional susceptibilities of *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae) to ten insecticides. *Fla. Entomol.*, 99: 269 - 275.

(责任编辑: 袁德成)